



TITLE:

Optical Characterization of Localized  
Excitons in ZnSe-based Quantum Well  
Structures Grown by Molecular Beam  
Epitaxy( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Yamaguchi, Shigeo

---

CITATION:

Yamaguchi, Shigeo. Optical Characterization of Localized Excitons in ZnSe-based Quantum Well Structures Grown by Molecular Beam Epitaxy. 京都大学, 1997, 博士(工学)

ISSUE DATE:

1997-03-24

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/202309>

RIGHT:

氏 名	やま ぐち しげ お 山 口 栄 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1616 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Optical Characterization of Localized Excitons in ZnSe- based Quantum Well Structures Grown by Molecular Beam Epitaxy (分子線エピタキシーによる ZnSe 系量子井戸構造における局在励起 子の光物性)

論文調査委員	(主 査) 教 授 藤 田 茂 夫	教 授 松 波 弘 之	教 授 松 重 和 美
--------	----------------------	-------------	-------------

## 論 文 内 容 の 要 旨

可視から短波長領域において動作する短波長半導体発光デバイスは、次世代の高記録密度の光ディスクをはじめ、大型フルカラーディスプレイなどへの応用に不可欠なデバイスとしてその研究開発が求められている。そのような発光デバイスを実現するためには、高品質なワイドギャップ半導体材料の結晶成長技術の確立と、発光機構の解明が必要である。

本論文は、短波長発光材料である II-VI 族 ZnSe 系半導体を取り上げ、分子線エピタキシー法によって 2 種類の井戸層材料を用いた量子井戸構造の作製条件を検討して、良好な結晶性を有する量子井戸構造の作製技術を確認すること、および、量子井戸構造における発光機構を、井戸層の混晶組成ゆらぎや界面ゆらぎに基づく励起子の局在化に焦点を当てて基礎的に解明することを目的として行った研究成果を纏めたもので、6 章より構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的および本論文の概要がまとめられている。すなわち、高度情報化社会の要請に対応した短波長半導体レーザ光源の必要性、従来行われた ZnSe 系量子井戸構造における励起子の発光機構に関する初期的な研究結果のまとめと問題点を述べ、本研究の目的と位置づけを明確にしている。

第 2 章では、本研究を遂行するに当たり最も基本となる試料の作製方法と、その構造的・光学的評価について述べている。すなわち、本研究で採用した 2 成長室分子線エピタキシー法による ZnSe 系半導体エピタキシャル成長において、III-V 族半導体成長室で GaAs 基板に GaAs 緩衝層を成長した後、これを II-VI 族成長室に移動させ、Se 原子を照射しながら表面処理と熱処理を行い、ZnSe 系のエピタキシャル成長を行うという独自の 방법으로、試料の高品質化が達成可能なことについて述べている。さらに、この作製法による試料の構造評価、光学評価を行って、発光量子効率の高い低欠陥濃度の ZnSe 系半導体エピタキシャル成長層と量子井戸構造が作製されたことについて述べている。

第3章では、従来報告された ZnSe 系量子井戸構造における励起子の関与した発光機構に不明な点があり、励起子の局在化に基づく光物性の解明の必要性を明確にしている。次いで、以下の章における局在励起子光物性の実験結果を議論する理論的拠り所を得るため、励起子の局在化因子として、混晶組成のゆらぎ、および、界面ゆらぎを取り上げ、これらの因子に基づく局在化の程度を理論計算により定量的に見積もっている。

第4章では、混晶ゆらぎが励起子の局在化の主要な因子となり、かつ、励起子の局在化の程度が比較的小さい系としての特長をもつ ZnCdSe/ZnSSe 多重量子井戸構造を取り上げ、その励起子光物性に関する実験結果を述べている。すなわち、励起子の発光機構を明らかにするために、フォトルミネッセンス法、透過法、時間分解分光法、非線型発光分光法によってこの量子井戸構造を系統的に評価し、低温でレーザ発振機構に局在励起子が関与すること、および、励起子分子を起源とする発光を示唆する結果を得ている。

第5章では、第4章の結果を踏まえて、界面ゆらぎが励起子の局在の主要な因子となり、かつ、励起子の局在化の大きい系としての特長を持つ CdSe/ZnSe 単一量子井戸構造を取り上げ、局在励起子の発光機構を明らかにするための実験結果を述べている。すなわち、井戸層である CdSe 層厚を1原子層から3原子層まで系統的に変化させた量子井戸構造の光学的特性を、フォトルミネッセンス法、時間分解分光法、非線型発光分光法によって評価している。この結果、井戸層厚に比例して、励起子の局在化の程度が大きくなることを明らかにするとともに、1原子層厚の CdSe 井戸層をもつ量子井戸構造に関しては、局在した励起子分子の関与する発光を観測し、2および3原子層厚の井戸層をもつ構造に関しては、局在した励起子同士の散乱過程を起源とする発光を観測している。これらの実験結果から、局在化の程度により励起子の発光機構が異なることを示唆する結果を得ている。さらに、1) 励起子の関与しない、従来の帯間遷移によるレーザ発振機構に基づく理論計算、2) 局在励起子が励起子線の状態密度の小さい裾準位で生じる反転分布に基づく理論計算によって得られた結果を実験結果と比較することにより、1原子層の CdSe を井戸層とする量子井戸構造においては、レーザ発振機構に局在した励起子分子が関与することを、2および3原子層の井戸層をもつ構造においては、局在した励起子が裾準位で反転分布することによりレーザ発振が生じることを示唆する結果を得ている。

第6章は総括の章であり、各章で得られた結論をまとめた上で、局在励起子の研究における今後の課題について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

光ディスクの高密度化や、表示装置のフルカラー化などに対応し得る短波長発光デバイスの発光機構を解明することは、高性能化への寄与とともに新機能の創出にとって重要な課題となっている。本論文は、短波長発光材料である II-VI 族 ZnSe 系半導体を取り上げ、分子線エピタキシャル法によって量子井戸構造を作製するとともに、井戸層の混晶組成のゆらぎや界面ゆらぎに基づく励起子の局在化に焦点を当てて、量子井戸の発光機構を基礎的に明らかにするために行った研究成果をまとめたもので、得られた成果の主なものは以下の通りである。

### 1. GaAs 基板上の分子線エピタキシー (molecular beam epitaxy: MBE) による ZnSe 系量子井戸構造

の成長において、基板表面の Se 処理と熱処理が量子井戸の高品質化に大きく寄与することを反射高エネルギー電子線回折その場観察と X 線回折測定、ならびにフォトルミネッセンス測定より明らかにし、MBE による ZnSe 系量子井戸構造の成長条件の確立に有用な知見を提供している。

2. 量子井戸構造の井戸層の統計的組成ゆらぎ、界面ゆらぎや層厚ゆらぎなどに基づく励起子発光線の広がり、励起子の局在効果を理論的に導出するため、簡便なモデルをこの系に適用し、実験結果との比較を可能としている。

3. 組成ゆらぎに基づく励起子の局在効果の大きい系である ZnCdSe/ZnSSe 系量子井戸構造の光物性評価から、この系の低温でのレーザ発振機構が局在励起子に基づくものであることを明らかにしている。

4. 界面ゆらぎに基づく励起子の局在効果の大きい系である CdSe/ZnSe 系単一量子井戸構造の光物性評価から、この構造で初めて多体効果である励起子分子発光を観測し、この発光が低温でのレーザ発振機構に関与していることを示唆する結果を得ている。

以上のように本論文は、三元系混晶 ZnCdSe、および二元化合物 CdSe を井戸層とする ZnSe 系量子井戸構造における励起子の局在化現象に焦点をあて、発光機構・レーザ発振機構の解明に寄与したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 9 年 2 月 4 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。